

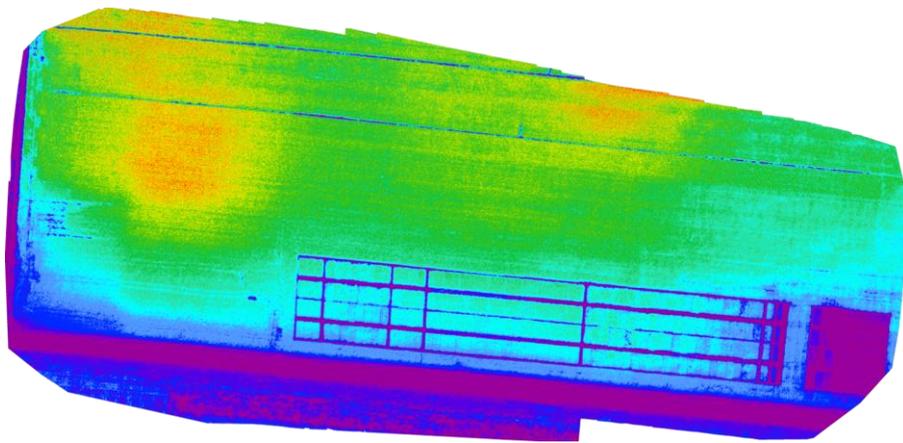
## UPORABA DALJINSKEGA ZAZNAVANJA PRI VARSTVU RASTLIN

Tradicionalni načini zatiranja rastlinskih boleznin in škodljivcev predpostavljajo njihovo enakomerno prostorsko razporeditev v posevku ali nasadu, vendar so v praksi najpogosteje razporejeni neenakomerno. Nekateri škodljivci in bolezni, se najprej pojavijo točkovno in se kasneje razširijo. Zdravstveno varstvo rastlin je v praksi največkrat povezano s spremljanjem vidnih znakov pojava bolezni in škodljivcev, za kar je potrebno redno pregledovanje rastlin. Postopki so zamudni in dragi, hkrati pa je učinkovitost zatiranja povezana z izkušnostjo preglednika in pravočasnostjo prepoznavanja prvih znakov pojava. Metode daljinskega zaznavanja omogočajo zaznavo prisotnosti bolezni ali škodljivcev na večjih površinah in v različnih fazah pojava. Nekateri senzorji omogočajo zaznavo bolezni ali škodljivca tudi pred vidnimi znaki. Pri daljinskem zaznavanju uporabljamo različne senzorje, ki so nameščeni na različnih nosilcih in omogočajo pravočasno in prostorsko natančno ukrepanje (Slika 1).



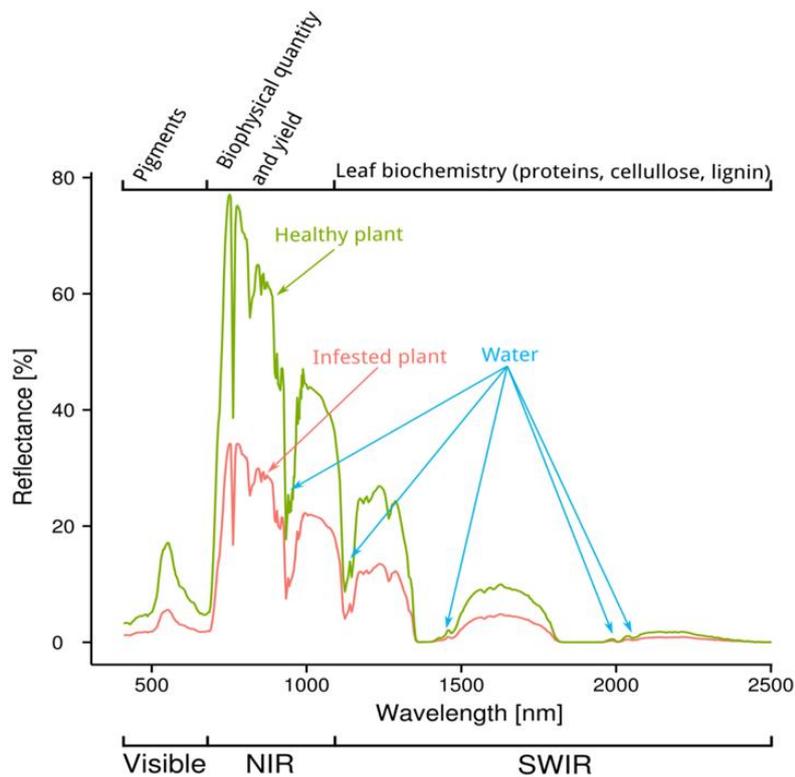
Slika 1: Nosilci senzorjev (platforme) daljinskega zaznavanja v kmetijstvu, ki jih pri svojem delu uporabljamo na Kmetijskem inštitutu Slovenije.

Glede na heterogeno prostorsko porazdelitev rastlinskih škodljivcev in povzročiteljev bolezni je daljinsko zaznavanje z optičnimi senzorji najprimernejša tehnologija, ki zagotavlja informacije o žariščih ter obsegu okužb. Napredne metode za analizo podatkov so ključne za učinkovito uporabo podatkov daljinskega zaznavanja za odkrivanje rastlinskih škodljivcev in bolezni (Slika 2). Za analizo podatkov in določanje zdravstvenega stanja rastlin, uporabljamo metode strojnega učenja, kot so umetne nevronske mreže.



Slika 2: Vročinska karta (angl. heat map) vrednosti vegetacijskega indeksa PSSR. Vijolična/modra barva nakazuje nizke vrednosti indeksa in s tem nizko vsebnost klorofila, oranžna/rdeča barva nakazuje visoko vsebnost klorofila.

Daljinsko zaznavanje je znanost o pridobivanju informacij o predmetih ali območju na daljavo, brez fizičnega stika med senzorjem in predmetom, ki ga proučujemo. Optični senzori izkoriščajo svetlobni spekter, tako naravnega kot umetnega, od ultravijoličnega (valovne dolžine od 100 do 400 nm) do dolgovalovne infrardeče svetlobe ( $15 \cdot 10^3$  nm do  $350 \cdot 10^3$  nm). Ljudje zaznavamo svetlobo v tako imenovanem vidnem razponu, od 400 do 700 nm. Bližnje-infrardeča svetloba (NIR) sega od 700 do 1000 nm in kratkovalovna infrardeča svetloba od 1000 do 2500 nm (SWIR). Čisti infrardeči oziroma toplotni senzori zajemajo elektromagnetno sevanje pri večjih valovnih dolžinah kot so valovne dolžine v območju SWIR-a. Med predmeti in svetlobo so možne tri interakcije: odboj, presevanje in absorpcija. Optični senzori merijo skupni učinek glavnih treh interakcij (t.i. spektralni odboj, ki se pogosto imenuje tudi odbojnost), njihova razmerja na različnih valovnih dolžinah pa so značilna za objekte (npr. rastline, tla in vodo) in omogočajo njihovo identifikacijo. Tej edinstveni in značilni odbojnosti pravimo spektralni podpis, t.j. spektralna odbojnost kot funkcija valovne dolžine. Spektralni podpisi so odvisni od optičnih lastnosti nadzemnih delov rastlin, biofizikalnih in biokemičnih lastnosti, osvetlitve, ozadja in geometrije med senzorjem in objektom (Slika 3).

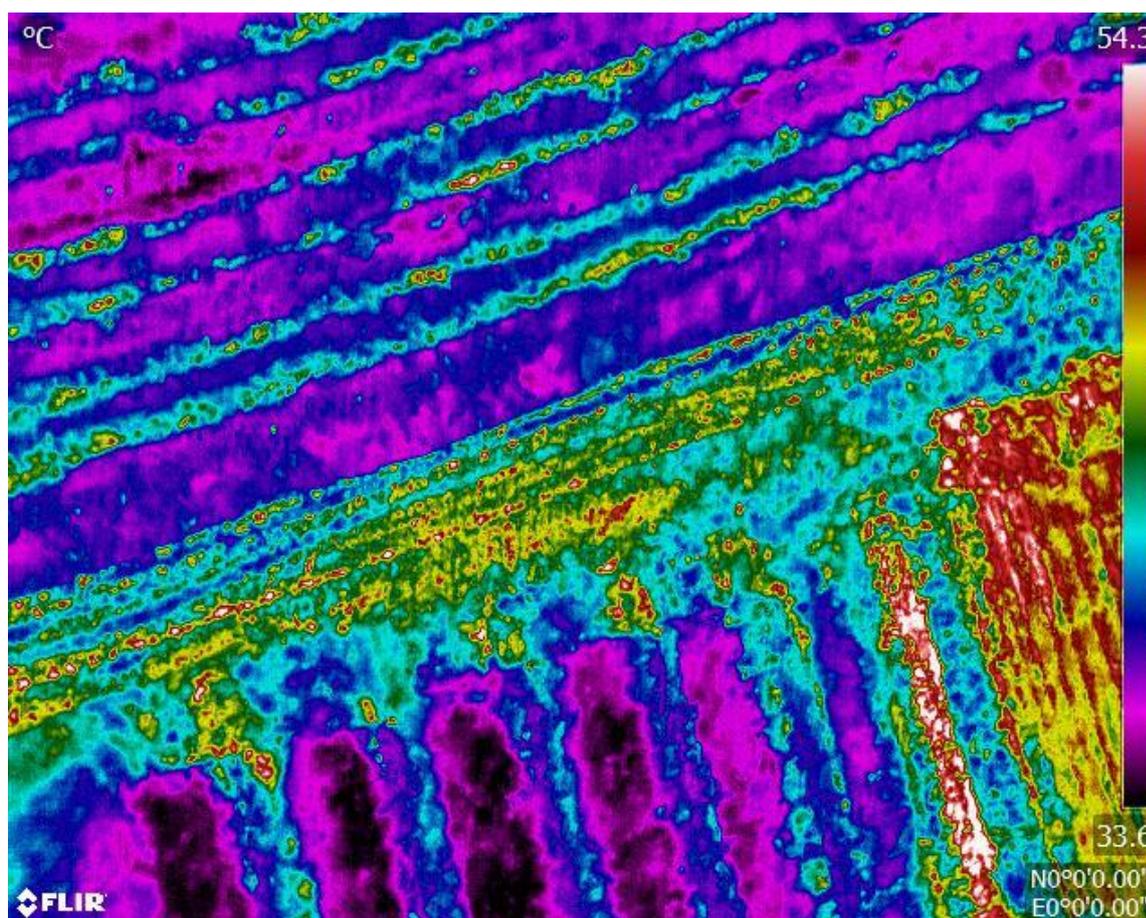


Slika 3: Spektralna podpisa zdrave in okužene rastline. Nad grafom je označeno, katere informacijo nosijo posamezni deli svetlobne spektra, med 400 in 2500 nm valovne dolžine. Na spektralnih podpisih vidimo tudi atmosfersko absorpcijo svetlobe.

Optične senzorje delimo na pet skupin: RGB, multispektralni, hiperspektralni, termalni in fluorescenčni senzorji (Slika 4). Čeprav je zaznavanje bolezni in škodljivcev možno s senzorji vseh petih skupin, je izbira senzorja odvisna od platforme (npr. v rastlinjaku, brezpilotni letalnik, letalo, satelit) in željene natančnosti. Na primer, RGB senzorji omogočajo določanje prisotnosti povzročiteljev bolezni, ki povzročajo spremembe na listih, njihova uporabnost za določanje okužb pred razvojem vidnih simptomov pa je omejena. Slednje omogočajo multi- in hiperspektralni ter toplotni senzorji (Slika 5). Te štiri skupine senzorjev lahko tudi uporabljamo na večjih razdaljah (na primer na letalu), z naravno osvetlitvijo. Senzorji fluorescence omogočajo natančno določanje bolezni, vendar zahtevajo natančno pripravo vzorcev in ustrezno umetno osvetlitev. Zato so primerni za uporabo na omejenih površinah, na primer v rastlinjakih in laboratorijih.

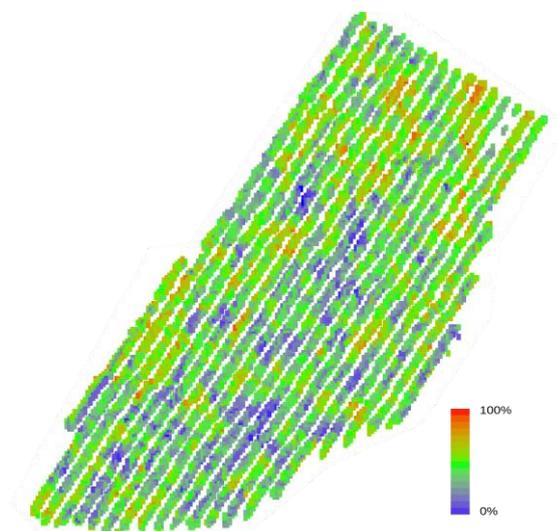


Slika 4: Senzorji daljinskega zaznavanja v kmetijstvu, ki jih uporabljamo na Kmetijskem inštitutu Slovenije.



Slika 5: Termalni posnetek njive. Rastline imajo nižjo temperaturo od tal, prisotne so tudi razlike med rastlinami, kar nakazuje prisotnost stresa.

Vidni znaki biotskih in abiotičnih stresov so pogosto podobni, če ne celo povsem enaki, vizualna identifikacija posameznih rastlin pa pogosto ne daje zadovoljivih rezultatov. Metode daljinskega zaznavanja so dobra alternativa in jih je mogoče prilagoditi uporabi na različnih nosilcih. Poleg tega omogočajo določanje stresorjev pred razvojem vidnih znakov, kar olajša natančno kmetovanje in integrirane varstvo rastlin (Slika 6). Čeprav lahko posamezni sensorji dosežejo zadovoljive rezultate, lahko z združevanjem različnih senzorjev in naprednih analiznih metod rezultate izboljšamo.



Slika 6: Vročinska karta verjetnosti okužbe vinske trte z zlato trsno rumenico. Ker so za vsako rastrsko celico znane verjetnost okužbe in geografske koordinate, lahko ciljano ukrepamo.

Pripravila: Uroš Žibrat in Matej Knapič

Fotografije: arhiv KIS

Datum nastanka: december 2020